

# BUNDEREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 09 JUL 2003

WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 25 201.7

Anmeldetag: 6. Juni 2002

Anmelder/Inhaber: EPCOS AG, München/DE

Bezeichnung: Abstimmbares Filter und Verfahren zur Frequenz-  
abstimmung

IPC: H 03 H 9/25

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

## Beschreibung

## Abstimmbares Filter und Verfahren zur Frequenzabstimmung

- 5 Die Erfindung betrifft ein abstimmbares mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement, insbesondere ein Filter sowie ein Verfahren zur Frequenzabstimmung.

10 Unter mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen werden im Wesentlichen SAW-Bauelemente (Oberflächenwellenbauelemente), FBAR Resonatoren (Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonator) und mit oberflächennahen akustischen Wellen arbeitende Bauelemente verstanden. Solche Bauelemente können z. B. als Verzögerungsleitungen, Resonatoren oder als ID-Tags eingesetzt werden. Große Bedeutung haben diese Bauelemente insbesondere jedoch als Filter in drahtlosen Kommunikationssystemen. Diese Systeme arbeiten weltweit mit regional unterschiedlichen Übertragungsnormen, die sich unter anderem durch unterschiedliche Frequenzlagen für die Sende- und Empfangsbänder sowie durch unterschiedliche Bandbreiten auszeichnen. Da somit die Einsetzbarkeit eines nur einer Norm gehorchenden Telekommunikationsendgerät regional begrenzt ist, sind solche Endgeräte wünschenswert, die mehr als einer Norm gehorchen. Dafür existieren bereits heute Multi-Band-Endgeräte, beziehungsweise kombinierte Multi-Band/Multi-Mode-Endgeräte. Diese weisen dazu in der Regel für jedes Frequenzband ein eigenes Filter auf und können auf diese Weise zwischen unterschiedlichen Sende- und Empfangssystemen hin und her schalten. Aufgrund der Vielzahl der dafür erforderlichen Filter und weiterer erforderlicher Komponenten werden diese Endgeräte jedoch wesentlich teurer und schwerer als zuvor und laufen außerdem dem Trend der zunehmenden Miniaturisierung der mobilen Endgeräte entgegen.

- 35 Es wurde bereits vorgeschlagen, für ein Multi-Band/Multi-Mode-Endgerät schaltbare Filter zu verwenden, die zwischen unterschiedlichen Arbeitsfrequenzen umschalten können, um da-

mit unterschiedliche Frequenzbänder mit einem einzelnen Filter abzudecken. Für Filter in SAW-Technik ist es dazu bekannt, auf einem Substrat unterschiedliche Filterelemente oder unterschiedliche Elektrodensätze aufzubringen, zwischen denen umgeschaltet werden kann. Aber hier sind die stets mit elektrischen Verlusten behafteten Schalter und die zusätzliche Chipfläche für die weiteren Elektrodensätze, die diese Technik benötigt, von Nachteil. Außerdem ist es auf diese Weise nur möglich, zwischen konkret vorgegebenen Schaltzuständen auszuwählen beziehungsweise zu schalten.

Weiterhin wurde bereits vorgeschlagen, analog durchstimbare (tunable) Filter zu schaffen, um damit ein Filter für unterschiedliche Frequenzen auszulegen. Herkömmliche SAW-Filter sind jedoch für ihre Frequenzstabilität bekannt und daher nicht oder nur in sehr engen Grenzen abstimmbar. Zur Abstimmung ist es bekannt, parallel zum Filter eine variable Kapazität zu schalten, ein variables ferroelektrisches Material zu verwenden, eine in ihrer Leitfähigkeit variable Schicht einzusetzen oder variable Lasten auf einzelne Filterelemente zu geben. Die damit erreichbare durchstimbare Bandbreite, also der maximal variierbare Frequenzbereich für solche Filter ist aber eher gering und nicht dazu ausreichend, ein SAW-Filter durch Frequenzabstimmung in unterschiedlichen Frequenzbändern betreiben zu können.

Eine weitere mit akustischen Wellen arbeitende Filtertechnik ist die FBAR- oder BAW-Filtertechnik, bei der durch Zusammenschalten verschiedener in FBAR-Technik aufgebauter Eintonresonatoren ein Bandpaßfilter realisiert werden kann. Auch hier ist es möglich, für ein zwischen verschiedenen Frequenzen schaltbares Filter unterschiedliche Filterelemente wie beispielsweise unterschiedliche Elektroden oder komplett unterschiedliche Resonatoren oder Filter vorzusehen. Auch wurde für FBAR Filter bereits vorgeschlagen, parallele variable Kapazitäten, variable ferroelektrische Materialien, variabel leitfähige Schichten oder variable Lasten für einzelne Fil-

tereelemente vorzusehen, um dadurch schaltbare oder abstimmbare Filter zu realisieren. Doch ebenso wie bei der SAW-Technik lassen sich die Frequenzen auch auf diese Art und Weise in nur sehr engen Grenzen abstimmen.

5

In der US 5,959,388 ist ein SAW-Bauelement beschrieben, welches mit einem Magnetfeld abstimmbar ist. Dazu ist auf einem magnetostriktivem Material eine piezoelektrische Schicht aufgebracht, auf der das SAW-Bauelement realisiert ist. Unter dem Einfluß eines äußeren Magnetfeldes wird in der magnetostriktiven Schicht eine mechanische Verspannung generiert, die zu einer Veränderung der Geschwindigkeit der Oberflächenwelle führt. Auf diese Weise läßt sich die Frequenz des SAW-Bauelements verschieben. Da das Magnetfeld mit einer Spule erzeugt wird, stellt dies eine aufwendige und nur schwer steuerbare Konstruktion dar, die vor allem wegen der energetischen Verluste für mobile Endgeräte nicht geeignet ist.

10

15

20

25

30

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 102 08 169.7 ist außerdem eine Lösung zur Frequenzabstimmung beschrieben, bei der die Regelung der Frequenzlage in einfacher Weise mittels zweier Steuerelektroden gelingt, über welche die Permeabilität eines hybriden Permeabilitätselementes beeinflußt wird. Das hybride Permeabilitätselement besteht dabei zumindest aus einem Verbund einer piezoelektrischen Steuerschicht und einer magnetostriktiven Schicht. Mit einer an die Steuerelektroden angelegten Steuerspannung wird das Magnetfeld und damit die elastischen Eigenschaften der magnetosensitiven Schicht beeinflußt, was eine Auswirkung auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit akustischer Welle in diesem Material hat. Dadurch wird die Frequenzlage des in der piezoelektrischen Schicht über der magnetosensitiven Schicht ausgebildeten Bauelements beeinflußt.

35

Ein wesentlicher Nachteil des zuletzt genannten Verfahrens besteht darin, daß das zur Modulation des Magnetfeldes benutzte Permeabilitätselement als eigenes Bauteil nachträglich

mit dem eigentlichen Filterelement verbunden oder sogar in das Filtergehäuse integriert werden muß. Dadurch tritt ein erheblicher Zusatzaufwand auf, der bezüglich der Gehäusetechnik einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt.

5

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement anzugeben, welches in seiner Frequenzlage einfach abstimmbar ist und welches sich zur Herstellung von in verschiedenen Frequenzbändern arbeitenden Filtern eignet.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Bauelement mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Frequenzabstimmung gehen aus weiteren Ansprüchen hervor.

15

Die Erfindung gibt ein Bauelement an, welches einen einfachen Mehrschichtaufbau aufweist und welches in einfacher Weise in seiner Frequenzlage abstimmbar ist.

20

Die Abstimmung der Frequenzlage wird über eine veränderliche Spannung - die Steuerspannung - vorgenommen, welche an eine piezoelektrische Schicht - die Abstimmsschicht - angelegt ist und aufgrund eines inversen piezoelektrischen Effektes mechanische Ausdehnung oder Stauchung des Piezomaterials bewirkt. Die mechanischen Verspannungen werden weiterhin unmittelbar - im Gegensatz zu den bei abstimmbaren Filtern bisher bekannten Lösungen ohne Miteinbeziehung eines im Bauelement oder von außen gesteuerten Magnetfeldes - auf eine anliegende dünne GDE-Schicht übertragen. Diese steht in engem mechanischem Kontakt zu einer piezoelektrischen Anregungsschicht, auf der Elektrodenstrukturen realisiert sind, die Bauelementstrukturen darstellen. Durch die mechanischen Verspannungen werden die elastischen Eigenschaften in der GDE-Schicht bestimmt, beziehungsweise bei variierender Steuerspannung entsprechend verändert.

5

30

35

GDE-Materialien (Giant Delta E) sind Materialien, die eine außergewöhnlich hohe Änderung des Elastizitätsmoduls unter einer mechanischen Verspannung aufweisen. Eine Reihe solcher Materialien aus den unterschiedlichsten Materialklassen sind in letzter Zeit bekannt geworden.

Eine große Steifigkeitsänderung durch mechanische Verspannungen wird beispielsweise mit bestimmten metallischen Gläsern, sogenannten Metgläsern erreicht, die hauptsächlich aus den Metallen Eisen, Nickel und Kobalt bestehen. So weisen beispielsweise Metgläser der Zusammensetzung  $\text{Fe}_{81}\text{Si}_{3,5}\text{B}_{13,5}\text{C}_2$ ,  $\text{Fe-CuNbSiB}$ ,  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ ,  $\text{Fe}_{55}\text{Co}_{30}\text{B}_{15}$  oder  $\text{Fe}_{80}$  mit Si und Cr einen starken Delta E Effekt auf. Solche Metgläser sind beispielsweise unter dem Markennamen VITROVAC® 4040 der Vakuum-schmelze oder unter der Bezeichnung Metglas® 2605 SC ( $\text{Fe}_{81}\text{Si}_{3,5}\text{B}_{13,5}\text{C}_2$ ) bekannt.

Auch Multilayer-Systeme mit amorpher Struktur auf der Basis gemischter Metalloxide sind geeignet, beispielsweise das Zweischichtsystem  $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}/\text{Co}_{50}\text{B}_{20}$ .

Auch binäre und pseudobinäre Systeme aus seltenen Erdenmetallen, wie  $\text{Tb Fe}_2$  oder  $\text{Tb}_{0,3}\text{Dy}_{0,7}\text{Fe}_2$  kommen in Betracht.

Auch Einkristallsysteme wie Terfenol in der Zusammensetzung  $\text{Tb}_x\text{Dy}_{1-x}\text{Fe}_y$  mit  $0,27 \leq x \leq 0,3$  und  $1,9 \leq y \leq 1,95$  oder  $\text{F}_{14}\text{Nd}_2\text{B}$  zeigen einen starken  $\Delta E$ -Effekt.

Eine weitere Substanzklasse mit hohem  $\Delta E$ -Effekt sind die Phosphate  $\text{RPO}_4$  von seltenen Erden. Dabei steht R für die seltenen Erden von Tb bis Y, beispielsweise für  $\text{TbPO}_4$ ,  $\text{TmPO}_4$  und  $\text{DyPO}_4$ . Diese Zusammensetzungen weisen eine polykristalline Struktur auf, können aber auch in tetragonaler einkristalliner Form eingesetzt werden.

35

In Abhängigkeit von dem für die GDE-Schicht gewählten Material kann deren Elastizitätsmodul bis zu einem Faktor von mehr

als 2 verändert werden. Die Geschwindigkeit der Oberflächenwelle, die von der Wurzel des Elastizitätsmoduls abhängig ist, läßt sich dementsprechend um mehr als 30 % verändern, was der Änderung der Frequenzlage des Bauelements entspricht, die proportional zur Geschwindigkeit der Oberflächenwelle ist.

Alle oben genannten Stoffe ändern bei Anlegen eines Magnetfelds ihre elastischen Eigenschaften um bis zu 100 %, ohne daß sie dafür in der Nähe eines Phasenübergangs arbeiten. Infolgedessen ist die Änderung der Eigenschaften auch proportional zum angelegten Magnetfeld, so daß eine gute Regelung dieser Eigenschaften über ein Magnetfeld möglich ist.

Das erfindungsgemäße Bauelement kann als SAW-Bauelement auf der (dünnen) piezoelektrischen Anregungsschicht ausgebildet sein. Auf dieser piezoelektrischen Schicht sind die Elektrodenstrukturen und alle übrigen Bauelementstrukturen angeordnet, beispielsweise Interdigitalwandler, Reflektoren sowie elektrische Anschlüsse und Verbindungen. Unterhalb der piezoelektrischen Schicht ist die GDE-Schicht angeordnet.

Die Veränderung der Steifigkeit eines GDE-Materials infolge mechanischer Verspannungen ruft wiederum eine Veränderung von der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Oberflächenwelle hervor. Da die Eindringtiefe der SAW während der Ausbreitung ungefähr einer halben Wellenlänge  $\lambda$  entspricht, wird die Dicke der piezoelektrischen Schicht entsprechend dünner als  $\lambda/2$  gewählt, um die teilweise Ausbreitung der Welle innerhalb der GDE-Schicht und damit den gewünschten Effekt zu gewährleisten.

Da die GDE-Schichten außerdem magnetostriktive Eigenschaften aufweisen, ist bei der Erfindung unerwünscht, daß die im Bauelement erzeugte akustische Welle eine Rückwirkung auf die GDE-Schicht hat, die zu einer Nichtlinearität des Bauelements führen würde. Daher sind die GDE-Schichten so ausgewählt, daß deren maximale Umschaltfrequenz, also das Ansprechen auf eine

mechanische Einwirkung durch den inversen magnetostriktiven Effekt aufgrund der akustischen Welle, weit unterhalb des Frequenzbereiches der akustischen Welle liegt, bei der das Bauelement arbeitet. Dies hat zur Folge, daß bei der Arbeits-  
5 frequenz des Bauelements die akustische Welle keinerlei Rückkopplungen durch den magnetostriktiven Effekt in der GDE-Schicht erzeugt. Für alle in dem erfindungsgemäßen Mehrschichtaufbau verwendeten Schichten ist diese Forderung erfüllt. Dennoch können die Bauelemente mit einer ausreichenden  
10 Geschwindigkeit umgeschaltet werden. Die Trägheit des magnetostriktiven Effekts erlaubt noch Schaltfrequenz im Kilohertz-Bereich, was Schaltzeiten von weniger als 1 ms entspricht.

15 Ein erfindungsgemäßes Bauelement kann auch als FBAR-Resonator ausgebildet sein. Ein solches mit Volumenwellen arbeitendes Bauelement weist eine piezoelektrische Schicht auf, die zwischen zwei Elektrodenschichten angeordnet ist. Erfindungsgemäß kann eine der Elektrodenschichten, insbesondere die untere Elektrodenschicht, als GDE-Schicht ausgebildet sein. Dies  
20 ist insofern in einfacher Weise möglich, da die meisten GDE-Materialien eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Andernfalls wird eine dünne hochleitfähige Schicht als zusätzliche Elektrodenschicht vorgesehen. Möglich ist es  
5 auch, die genannte GDE-Schicht als obere Elektrodenschicht für den FBAR-Resonator auszubilden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, beide Elektrodenschichten aus einem GDE-Material herzustellen. Möglich ist es auch, die GDE-Schicht  
als zusätzliche Schicht zu den Elektrodenschichten auszubilden, wobei die GDE-Schicht über- oder unterhalb von Elektro-  
30 denschichten oder direkt benachbart der piezoelektrischen Schicht angeordnet werden kann.

Bei der Ausführung als FBAR-Resonator ist das gesamte Bauelement vorzugsweise auf einem Substrat aufgebaut, auf dem die  
35 einzelnen Schichten einzeln und hintereinander erzeugt beziehungsweise übereinander abgeschieden werden. Als Substratma-



terialien dienen üblicherweise Glas oder Halbleiter wie beispielsweise Silizium. Weitere geeignete Substratmaterialien sind Keramik, Metall, Kunststoffe sowie andere Material mit entsprechenden mechanischen Eigenschaften, auf denen sich die  
5 für das Bauelement erforderlichen Schichten abscheiden lassen. Möglich sind auch Mehrlagenaufbauten aus zumindest zwei unterschiedlichen Schichten. Das Substrat ist mechanisch stabil und vorzugsweise im thermischen Ausdehnungskoeffizienten an den darüber aufgetragenen Schichtaufbau angepaßt, um in  
10 den auf Dimensionsänderungen empfindlichen Schichten des Bauelements Verspannung durch unterschiedliche thermische Ausdehnung zu minimieren.

Bei der Ausbildung des Bauelements als FBAR-Resonator (BAW-  
15 Resonator, BAW steht für Bulk Acoustic Wave) existieren verschiedene Aufbauvarianten, die sich bezüglich der Schichtenfolge im Bauelement unterscheiden können. Zur akustischen Entkopplung des FBAR-Resonators zum Substrat hin kann beispielsweise ein akustischer Spiegel vorgesehen sein, der die  
20 akustische Welle in den Resonator reflektiert, so daß keine Verluste durch Abstrahlung der Welle in das Substrat hinein entstehen. Ein solcher akustischer Spiegel läßt sich in einfacher Weise aus zumindest zwei, meist aber vier oder mehr  $\lambda/4$ -Schichten fertigen, deren Dicke einem Viertel (oder ungeradezahligen Vielfachen von  $\lambda/4$ , d. h.  $(2n+1) \cdot \lambda/4$ , wobei  $n$   
25 ganzzahlig ist,  $n = 0, 1, 2, \dots$ ) der Wellenlänge der im Material ausbreitungsfähigen akustischen Welle ist. Für diese  $\lambda/4$ -Schichten werden unterschiedliche Materialien mit unterschiedlicher akustischer Impedanz verwendet, wobei der Reflexionskoeffizient des akustischen Spiegels mit größer werden-  
30 dem Impedanzunterschied zwischen den Materialien der Spiegelschichten steigt. Ein akustischer Spiegel kann beispielsweise aus alternierenden Schichten von Wolfram und Siliziumoxid, Wolfram und Silizium, Aluminiumnitrid und Siliziumoxid, Silizium und Siliziumoxid, Molybdän und Siliziumoxid oder anderen  
35 Schichtenpaaren bestehen, die sich durch ausreichende Unterschiede bezüglich ihrer akustischen Impedanz auszeichnen und

die kontrolliert in Dünnschichttechniken wechselseitig übereinander abscheidbar sind. Die Anzahl der für einen ausreichenden Reflexionskoeffizienten des akustischen Spiegels erforderlichen Schichtenpaare ist von der Materialauswahl abhängig, da unterschiedliche Schichtenpaare unterschiedliche Reflexionskoeffizienten aufweisen.

Die GDE-Schicht kann eine Teilschicht des akustischen Spiegels sein. Auch die Elektroden-schicht kann Teil des akustischen Spiegels sein. Möglich ist es jedoch auch, den akustischen Spiegel zusätzlich zu beiden genannten Schichten auszubilden.

Eine weitere Ausführungsform von FBAR-Resonatoren nutzt den hohen Impedanzunterschied zwischen Feststoffen und Luft, um einen ausreichenden Reflexionskoeffizienten für die akustische Welle an der Grenzfläche zu erzielen. Solche FBAR-Resonatoren sind daher über einem Luftspalt ausgebildet, beispielsweise freitragend oder über einer zusätzlichen dünnen Membranschicht. Die Auflagepunkte des FBAR-Resonators auf dem Substrat sind dabei so gewählt, daß sie seitlich gegen das aktive Resonatorvolumen versetzt sind, das insbesondere durch die Elektrodenfläche für den FBAR-Resonator definiert ist.

Zur Abstimmung des erfindungsgemäßen Bauelements wird über die an Steuerelektroden anzulegende Steuerspannung eine Dimensionsänderung der piezoelektrischen Steuerschicht erzeugt, die auf die als Dünnschicht ausgebildete GDE-Schicht übertragen wird. Die GDE-Schicht kann aufgrund ihrer Leitfähigkeit als eine der Steuerelektroden für die piezoelektrische Steuerschicht dienen. Gegenüber der GDE-Schicht ist auf der piezoelektrischen Abstimm-schicht die zweite Steuerelektrode aufgebracht, beispielsweise eine Aluminiumschicht.

Zur Abschirmung des Bauelements gegenüber äußeren elektrischen und vor allem magnetischen Feldern ist eine metallische

Abdeckung, Umhüllung, ein metallisches Gehäuse oder ähnliches, insbesondere Mu-Metall geeignet.

Wegen der guten Abstimmbarkeit bezüglich der Arbeitsfrequenz des Bauelements ist dieses insbesondere als Filter geeignet und insbesondere als Frontendfilter für ein drahtloses Kommunikationsendgerät, beispielsweise ein Mobiltelefon. Durch den großen Abstimmungsbereich bis 30 % relativ zur Mittenfrequenz des Filters kann ein erfindungsgemäßes Bauelement als Frontendfilter auf eine Reihe unterschiedlicher Frequenzbänder abgestimmt werden. So ist es mit einem einzigen erfindungsgemäßen Filter möglich, in unterschiedlichen Sende- und Empfangsbändern betrieben zu werden. Während bislang für einen Betrieb in mehreren Bändern mehrere Filter erforderlich waren, genügt nun ein einziges erfindungsgemäßes Filter. Mit 2 oder 3 Filtern läßt sich auf diese Weise sogar das gesamte Frequenzspektrum der heute üblichen Mobilfunkfrequenzen abdecken.

Erfindungsgemäße als FBAR-Resonatoren ausgebildete Bauelemente stellen für sich genommen noch keine Filter dar, sondern wirken erst in einer Zusammenschaltung mehrerer Bauelemente, beispielsweise in einer Abzweigschaltung als Bandpaßfilter. Mit der Erfindung ist es nun möglich, sämtliche zu einem Bandpaßfilter zusammengeschaltete erfindungsgemäße FBAR-Resonatoren mit einer gemeinsamen Abstimmsschicht bezüglich ihrer Arbeitsfrequenz und damit bezüglich der Mittenfrequenz des Paßbandes zu verschieben. Möglich ist es jedoch auch, zwei oder mehr Abstimmsschichten in einem Bauelement vorzusehen und so mehrere Filterkomponenten unterschiedlich zu beeinflussen. Wird ein Bandpaßfilter durch erfindungsgemäße FBAR-Resonatoren realisiert, so können die Resonatoren so in Gruppen angeordnet werden, daß mit Hilfe mehrerer Abstimmsschichten eine unterschiedliche Beeinflussung der Resonatoren bezüglich ihrer Mittenfrequenz gelingt. Bei einem Bandpaßfilter in Abzweigtechnik ist es zum Beispiel möglich, die im seriellen Zweig angeordneten Resonatoren anders zu behandeln

beziehungsweise zu beeinflussen als die in den parallelen Zweigen angeordneten Resonatoren. Auf diese Weise ist es möglich, die Bandbreite des gesamten Filters zu beeinflussen. Bei größer werdendem Abstand der Mittenfrequenzen zwischen den Resonatoren im parallelen und im seriellen Arm wird die Bandbreite des Filters vergrößert.

Mit der gleichen Methode lassen sich auch die Duplexerabstände in einem aus erfindungsgemäßen Bauelementen hergestellten Duplexer beeinflussen. Wird eines der beiden aus erfindungsgemäßen Sende- und Empfangsfilter bestehenden Einzelfilter des Duplexers mit Hilfe einer Abstimmsschicht in seiner Mittenfrequenz gegen das entsprechende andere Filter verschoben, so wird der Bandabstand vergrößert oder verkleinert. Durch unabhängige Beeinflussung von Sende- und Empfangsfiltern mit Hilfe eigener Abstimmsschichten und unterschiedlich einstellbarer Steuerspannungen ist es möglich, den Duplexer sowohl im Bandabstand als auch in der Frequenzlage im Rahmen der erfindungsgemäßen Bandbreite bis mehr als 30 % zu variieren.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen schematischen und daher nicht maßstabsgetreuen Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein als FBAR-Resonator ausgebildetes erfindungsgemäßes Bauelement im schematischen Querschnitt

Figur 2 zeigt ein weiteres als FBAR-Resonator ausgebildetes erfindungsgemäßes Bauelement im schematischen Querschnitt

Figur 3 zeigt ein als SAW-Bauelement ausgebildetes erfindungsgemäßes Bauelement im schematischen Querschnitt

Figuren 4 und 5 zeigen weitere als SAW-Bauelement ausgebildete erfindungsgemäße Bauelemente im schematischen Querschnitt

5 In Figur 1 sind allgemeine Merkmale der Erfindung anhand einer schematischen Querschnittsdarstellung eines erfindungsgemäßen BAW-Bauelements (Bulk Acoustic Wave Bauelement) erläutert.

10 Das Bauelement BE ist als Mehrschichtbauelement auf einem Substrat SU erzeugt. Es umfaßt eine GDE-Schicht GDE, über der in engem Kontakt eine piezoelektrische Schicht PS ausgebildet ist, welche einerseits mit einem Paar HF-Elektroden ES1 zur Anregung akustischer Volumenwelle und andererseits mit einem  
15 Paar Steuerspannungs-Elektroden ES2 versehen ist. In der in Figur 1 gezeigten vorteilhaften Ausführung stellt die Top-Elektrode sowohl eine der HF-Elektroden als auch eine der Steuerspannungs-Elektroden zugleich dar. Die zweite HF-Elektrode bzw. die zweite Steuerspannungs-Elektrode ist neben  
20 der piezoelektrischen Schicht PS auf der GDE-Schicht angeordnet.

Die zweite HF-Elektrode ES1 kann in einer weiteren Ausführungsform unterhalb der piezoelektrischen Schicht PS angeordnet sein. Die zweite Steuerspannungs-Elektrode des Elektrodenpaar ES2 kann als dünne Metallschicht entweder oberhalb oder unterhalb der GDE-Schicht GDE liegen. Die letztere Möglichkeit ist in Figur 1 durch die wahlweise vorzusehende Metallschicht ME angedeutet. Eine weitere Möglichkeit besteht  
25 darin, daß die GDE-Schicht eine der HF-Elektroden oder der Steuerspannungs-Elektroden ersetzt. Die Steuerspannungs-Elektroden können weiterhin quer zur piezoelektrischen Schicht angeordnet sein.

30 Die Dicken von piezoelektrischer Schicht PS und GDE-Schicht GDE sind so gewählt, daß beide Schichten im Eindringbereich der akustischen Welle liegen.

Das Dickenverhältnis von piezoelektrischer Schicht PS zur GDE-Schicht GDE im Bereich der Eindringtiefe ist ein weiterer einstellbarer Parameter für das erfindungsgemäße Bauelement.

5 Je größer der Anteil der GDE-Schicht innerhalb der Eindringtiefe ist, desto größer ist der Abstimmbereich, über den die Arbeitsfrequenz beziehungsweise Mittenfrequenz des Filters verschoben werden kann. Ein größerer Anteil piezoelektrischer Schicht PS innerhalb der Eindringtiefe dagegen erhöht die  
10 Kopplung und damit die Bandbreite des Filters. In Abhängigkeit von den gewünschten Eigenschaften des Bauelements wird das Verhältnis so eingestellt, daß entweder eine hohe Kopplung oder eine hohe Abstimmbarkeit oder eine geeignete Optimierung bezüglich beider Eigenschaften erhalten wird.

15 Der akustisch aktive Teil des Bauelements kann zum Substrat SU hin durch einen akustischen Spiegel AS abgetrennt sein, der für eine hundertprozentige Reflexion der akustischen Welle zurück in den akustisch aktiven Teil des Bauelements  
20 sorgt.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß die GDE-Schicht eine Teilschicht des akustischen Spiegels AS darstellt. Wichtig ist dabei auch hier, daß die GDE-Schicht im Eindringbereich der akustischen Welle liegt, so daß in dieser Ausführungsform die GDE-Schicht insbesondere eine obere Teilschicht des akustischen Spiegels ist. So wird eine bessere Abstimmbarkeit über die GDE-Schicht erzielt.

30 Möglich ist es auch, daß die untere Steuer- oder HF-Elektrodenschicht eine Teilschicht des akustischen Spiegels AS darstellt.

Die an die Steuerelektroden angelegte variierende Spannung  
35 (Steuerspannung) wird zur Frequenzabstimmung des Filters benutzt. Im Ausführungsbeispiel von Figur 1 übernimmt die genannte piezoelektrische Schicht PS zweierlei Funktion als An-

regungsschicht zur Anregung von akustischen Volumenwellen und als abstimmbare Schicht zur Erzeugung einer mechanischen Ver-  
spannung, welche auf die GDE-Schicht übertragen wird und eine  
Veränderung der Materialsteifigkeit hervorruft. Letztere be-  
5 einflußt wiederum die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akusti-  
schen Welle und damit die Mittelfrequenz des Filters.

Figur 2 zeigt den Querschnitt einer weiteren vorteilhaften  
Ausführungsform eines abstimmbaren BAW-Bauelements. Die pie-  
10 zoelektrische Anregungsschicht PS1 liegt zwischen zwischen  
zwei HF-Elektroden ES1. Die untere dieser Elektroden ES1  
stellt gleichzeitig eine Steuerspannungs-Elektrode ES2 dar.  
Darunter ist eine GDE-Schicht GDE angeordnet, die in einer  
weiteren möglichen Ausführungsform die zuletzt erwähnte Elek-  
15 trode ersetzen kann, falls die GDE-Schicht elektrisch leitend  
ist. Zwischen der GDE-Schicht und der unteren der Steuerspan-  
nungs-Elektroden ES2 liegt die piezoelektrische Abstimm-  
schicht PS2.

20 In Figur 3 ist anhand einer schematischen Querschnittsdar-  
stellung die Erfindung für ein SAW-Bauelement erläutert.

Das Bauelement BE ist als Mehrschichtbauelement auf einem  
Substrat SU erzeugt. Es umfaßt eine GDE-Schicht GDE, über der  
25 in engem Kontakt eine piezoelektrische Schicht PS ausgebildet  
ist. Die Bauelementstrukturen (Elektrodenstrukturen) ES1 sind  
auf der Oberfläche der piezoelektrischen Schicht PS ausgebil-  
det, beispielsweise als Aluminium umfassende Metallisierun-  
gen. Die von den Elektrodenstrukturen ES1, beispielsweise von  
30 Interdigitalwandlern, erzeugten akustischen Wellen haben eine  
Eindringtiefe in den Mehrschichtaufbau von etwa einer halben  
Wellenlänge. Die Dicken von piezoelektrischer Schicht PS und  
GDE-Schicht GDE sind so gewählt, daß beide Schichten im Ein-  
dringbereich der akustischen Welle liegen.

35 Eine erste Steuerspannungs-Elektrode ES2 ist auf der Obersei-  
te der piezoelektrischen Schicht PS, die akustische Struktu-

ren wie z. B. Interdigitalwandler und Reflektoren trägt, angeordnet. Als zweite Steuerelektrode ES2 in diesem Ausführungsbeispiel dient die elektrisch leitende GDE-Schicht GDE.

- 5 Die zweite Steuerelektrode kann außerdem als eine zusätzliche Metallschicht oberhalb oder unterhalb der GDE-Schicht angeordnet sein.

10 In dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel dient die piezoelektrische Schicht PS sowohl zur Anregung akustischer Oberflächenwellen als auch zur Steuerung elastischer Eigenschaften der darunter liegenden GDE-Schicht GDE mittels mechanischer Verspannungen, die als Folge des inversen piezoelektrischen Effektes beim Anlegen variierender Steuerspannung auftreten.

15

Figur 4 zeigt anhand eines schematischen Querschnitts ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen SAW-Bauelements, wobei die GDE-Schicht GDE zwischen der piezoelektrischen Anregungsschicht PS1 und der piezoelektrischen Abstimmsschicht PS2 angeordnet ist. Eine Steuerspannungs-Elektrode ES2 liegt unterhalb der Abstimmsschicht PS2. Die zweite Steuerelektrode ES2 kann entweder als GDE-Schicht oder als eine zusätzliche Metallschicht oberhalb oder unterhalb der GDE-Schicht GDE ausgebildet sein.

20

25

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist ein abstimmbares SAW-Bauelement ohne Trägersubstrat in Figur 5 gezeigt. Die akustischen Strukturen wie z. B. Interdigitalwandler oder Reflektoren befinden sich auf der Oberseite der piezoelektrischen Anregungsschicht PS1. Die GDE-Schicht GDE ist zwischen der Anregungsschicht PS1 und der piezoelektrischen Abstimmsschicht PS2 angeordnet. Letztere ist beiderseits mit Steuerspannungs-Elektroden ES2 versehen.

30

35

Eine weitere Variationsmöglichkeit besteht darin, die obere Steuerspannungs-Elektrode ES2 als GDE-Schicht auszubilden.



Die Erfindung wurde der Übersichtlichkeit halber nur anhand weniger Ausführungsbeispiele dargestellt, ist aber nicht auf diese beschränkt. Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben

5 sich aus weiteren von den dargestellten Ausführungen unterschiedlichen relativen Anordnungen von piezoelektrischer Abstimmungsschicht, GDE-Schicht und piezoelektrischer Anregungsschicht. Variationen sind auch bezüglich der den Typ des Bauelements bestimmenden Elektrodenstrukturen und auch bezüglich  
10 der verwendeten Materialien und Dimensionen möglich. Nicht dargestellt sind auch Maßnahmen zur Abschirmung des erfindungsgemäßen Bauelements, insbesondere Abschirmungen aus Mu-Metall.

15 Das erfindungsgemäße Bauelement kann außerdem aus mehreren Filterteilstrukturen bestehen. Die Filterteilstrukturen können voneinander unabhängige Filter sein, können zusammen einen Duplexer bilden, welcher mit einer Antenne verbunden eine Frequenzweiche darstellt. Die Teilfilterstrukturen können  
20 auch zusammen einen Duplexer bilden, wobei die Teilfilterstrukturen jeweils ein Sende- oder ein Empfangsfilter darstellen. Jedes der Filterbauelemente beziehungsweise der Filterteilstrukturen ist dabei mit einer eigenen Abstimmungsschicht kombiniert, so daß eine voneinander unabhängige Abstimmung  
25 der Filterteilstrukturen möglich ist. Für einen Duplexer bedeutet dies, den Frequenzabstand der beiden voneinander zu trennenden Frequenzbereiche zu erhöhen oder zu erniedrigen. In einem Duplexer kann auf diese Art und Weise der Duplexerabstand eingestellt werden. Möglich ist es jedoch auch, die  
30 beiden Filterteilstrukturen durch Serien- oder Parallelerschaltung zu einem einzigen Filter zusammenzuschalten. Werden dabei beispielsweise identische Filterteilstrukturen eingesetzt, so können durch unabhängige Abstimmung einzelner oder beider Filterteilstrukturen deren Mittenfrequenzen gegenein-  
35 ander verschoben werden, wobei sich die Bandbreite des Gesamtfilters verändert. Dabei können die Filterteilstrukturen einzelne Filterspuren eines SAW-Filters sein. Die Filterteil-

strukturen können aber auch einzelne oder Gruppen von FBAR-Resonatoren innerhalb einer Ladder Type-Anordnung sein. Die Ladder Type-Anordnung kann dabei aus FBAR-Resonatoren oder aus Eintor-SAW-Resonatoren bestehen.

5

Möglich ist außerdem eine Lattice-Type-Anordnung mehrerer SAW- oder FBAR-Resonatoren, eine Filteranordnung aus gestapelten SAW- oder FBAR-Resonatoren, die sogenannte Stacked-Crystal-Filter (SCF) Filteranordnung, oder eine Filteranordnung aus gekoppelten Resonatoren: Coupled-Resonator-Filter (CRF) Filteranordnung. Eine Filteranordnung kann auch beliebige Kombinationen der genannten Filteranordnungen umfassen.

10

Das mechanische Trägersubstrat (SU) kann einen Vielschichtaufbau mit integrierten Schaltungselementen haben. Unter einem passiven oder aktiven Schaltungselement versteht man eine Induktivität, eine Kapazität, eine Verzögerungsleitung, einen Widerstand, eine Diode oder einen Transistor. Dabei sind die genannten Schaltungselemente vorzüglich als Leiterbahnen oder beliebig geformte Metallflächen zwischen den einzelnen Lagen des Trägersubstrats oder als vertikale Durchkontaktierungen im Trägersubstrat ausgebildet.

15

20

Auf der Oberseite des Trägersubstrats können außerdem diskrete passive oder aktive Bauelemente oder Chip-Bauelemente (beispielsweise SAW-Bauelemente, Mikrowellenkeramik-Filter, LC Chip Filter, Streifenleitungsfilter) angeordnet sein. Diese Chip-Bauelemente können von einem gemeinsamen Gehäuse umfaßt sein. Es ist möglich, daß einzelne Chip-Bauelemente separat (jedes für sich) eingehäust sind.

25

30

Sowohl im Trägersubstrat integrierte als auch auf der Oberseite des Trägersubstrats angeordnete Schaltungselemente können zumindest einen Teil einer Anpaßschaltung, eines Antennenschalters, eines Diodenschalters, eines Hochpaßfilters, eines Tiefpaßfilters, eines Bandpaßfilters, eines Bandsperrfilters, eines Leistungsverstärkers, eines Duplexers, eines

35

Duplexers, eines Kopplers, eines Richtungskopplers, eines Balun, eines Mischers oder eines Speicherelements bilden.

5 Eine Anpaßschaltung im erfindungsgemäßen Bauteil kann abstimmbar sein. Ein Teil der integrierten Anpaßschaltung kann beispielsweise als eine oder mehrere Leiterbahnen auf der Oberseite des Trägersubstrats zur späteren Feinanpassung ausgebildet sein.

10 Ein erfindungsgemäßes Bauteil kann sowohl zumindest einen symmetrischen als auch zumindest einen unsymmetrischen Ein- bzw. Ausgang aufweisen.

15 Ein vielschichtiges Trägersubstrat kann Lagen aus Mehrlagenkeramik, Silizium oder organischen Materialien (z. B. Kunststoffe, Lamine) enthalten.

20 Sowohl die auf der Oberseite des Trägersubstrats angeordneten Chip-Bauelemente als auch die auf der Oberseite des Trägersubstrats angeordneten diskreten passiven oder aktiven Bauelemente können SMD-Bauelemente (Surface Mounted Design Bauelemente) sein.

## Patentansprüche

1. Mit akustischen Wellen arbeitendes elektronisches Bauelement mit einem Mehrschichtaufbau, der
  - 5 - zumindest eine GDE-Schicht (GDE) und
  - zumindest eine in engem Kontakt mit der GDE-Schicht befindliche piezoelektrische Schicht (PS) enthält und
  - bei dem eine piezoelektrische Anregungsschicht (PS, PS1) vorgesehen und zur Anregung akustischer Wellen mit HF-Elektroden (ES1) versehen ist,
  - 10 - bei dem eine piezoelektrische Abstimmungsschicht (PS, PS2) zur Veränderung des Elastizitätsmoduls des GDE-Materials unmittelbar über eine mechanische Verspannung oder der Verbund der Abstimmungsschicht (PS, PS2) und der GDE-Schicht (GDE) vorgesehen und mit Steuerspannungs-Elektroden (ES2) versehen ist,
  - 15 - bei dem die Anregungs- und die Abstimmungsschicht durch die zumindest eine piezoelektrische Schicht verwirklicht sind.
- 20 2. Bauelement nach Anspruch 1,  
das zumindest einen BAW-Resonator - Bulk Acoustic Wave Resonator - umfaßt, wobei die piezoelektrische Anregungsschicht (PS, PS1) Bestandteil dieses Resonators ist.
- 25 3. Bauelement nach Anspruch 2,  
das einen akustischen Reflektor aufweist, bei dem eine Teilschicht des akustischen Reflektors (AS) als eine Elektrodenschicht (ES1, ES2) oder als eine GDE-Schicht  
30 (GDE) ausgeführt ist.
4. Bauelement nach Anspruch 2 oder 3,  
bei dem Elektroden vorgesehen sind, die sowohl als HF-Elektroden (ES1) zur Anregung akustischer Volumenwellen  
35 als auch als Steuerspannungs-Elektroden (ES2) zur Veränderung des Elastizitätsmoduls des GDE-Materials und damit zur Frequenzabstimmung des BAW Resonators dienen.

5. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 4,  
das zumindest eine Oberflächenwellenkomponente umfaßt,  
wobei die Anregungsschicht (PS, PS1) das piezoelektrische  
Substrat dieser Komponente bildet.
6. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 5,  
bei dem der Mehrschichtaufbau auf einem Trägersubstrat  
(SU) angeordnet ist.
7. Bauelement nach Anspruch 5 oder 6,  
bei dem eine der Steuerspannungs-Elektroden (ES2) auf der  
Fläche der piezoelektrischen Schicht (PS, PS1), welche  
Interdigitalwandler und weitere akustische Strukturen  
trägt, angeordnet ist.
8. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 7,  
bei dem die GDE-Schicht (GDE) und zumindest eine piezo-  
elektrische Schicht (PS, PS1, PS2) durch eine Elektroden-  
schicht (ES1, ES2) getrennt sind.
9. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem nur eine piezoelektrische Schicht (PS) vorgesehen  
ist, die sowohl als Anregungsschicht zur Anregung der  
akustischen Welle als auch als Abstimmsschicht zur mecha-  
nischen Verspannung der GDE-Schicht dient.
10. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 9,  
bei dem die GDE-Schicht (GDE) zwischen der Anregungs-  
schicht (PS1) und der Abstimmsschicht (PS2) angeordnet  
ist.
11. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 10,  
bei dem die GDE-Schicht (GDE) elektrisch leitende Eigen-  
schaften besitzt und eine der Steuerspannungs-Elektroden  
(ES2) oder - bei den FBAR-Ausführungen - eine der HF-  
Elektroden (ES1) ersetzt.

12. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 11,  
bei dem die GDE-Schicht (GDE) und die Abstimmsschicht (PS,  
PS2) zwischen zwei Steuerspannungs-Elektroden angeordnet  
sind.

13. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 12,  
bei dem die Anregungsschicht (PS, PS1) aus einem Material  
besteht, welches ausgewählt ist aus PZT, ZnO, AlN oder  
GaN.

14. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 13,  
bei dem das Trägersubstrat (SU) einen Vielschichtaufbau  
aufweist.

15. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 14,  
bei dem das Trägersubstrat (SU) einen Vielschichtaufbau  
mit zumindest einem integrierten passiven oder aktiven  
Schaltungselement aufweist.

16. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 15,  
bei dem auf der Oberseite des Trägersubstrats (SU) zumin-  
dest ein diskretes passives oder aktives Bauelement ange-  
ordnet ist.

17. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 16,  
bei dem auf der Oberseite des Trägersubstrats (SU) zumin-  
dest ein Chip-Bauelement angeordnet ist.

18. Bauelement nach Anspruch 17,  
bei dem das Chip-Bauelement ein SAW-Bauelement ist.

19. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 18,  
bei dem zumindest ein im Trägersubstrat (SU) integriertes  
passives oder aktives Schaltungselement zumindest einen  
Teil einer Anpaßschaltung bildet.

20. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 19, bei dem zumindest ein im Trägersubstrat (SU) integriertes passives oder aktives Schaltungselement entweder zumindest einen Teil eines Antennenschalters, eines Diodenschalters, eines Hochpaßfilters, eines Tiefpaßfilters, eines Bandpaßfilters, eines Bandsperrfilters, eines Leistungsverstärkers, eines Diplexers, eines Duplexers, eines Kopplers, eines Richtungskopplers, eines Balun, eines Mischers oder eines Speicherelements bildet.

21. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 20, bei dem zumindest ein auf der Oberseite des Trägersubstrats (SU) angeordnetes diskretes passives oder aktives Schaltungselement entweder zumindest einen Teil eines Antennenschalters, eines Diodenschalters, eines Hochpaßfilters, eines Tiefpaßfilters, eines Bandpaßfilters, eines Bandsperrfilters, eines Leistungsverstärkers, eines Diplexers, eines Duplexers, eines Kopplers, eines Richtungskopplers, eines Balun, eines Mischers oder eines Speicherelements bildet.

22. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 21, bei dem zumindest ein Teil einer im Trägersubstrat integrierten Anpaßschaltung als eine oder mehrere Leiterbahnen zur späteren Feinanpassung ausgebildet ist.

23. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 22, bei dem das Trägersubstrat (SU) eine Mehrlagenkeramik ist.

24. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem das Trägersubstrat (SU) aus Silizium besteht.

25. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 24, bei dem das Trägersubstrat (SU) aus einem organischen Material, beispielsweise Kunststoff oder Laminat, besteht.

26. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 25,  
bei dem sowohl ein oder mehrere Chip-Bauelemente als auch  
ein oder mehrere an der Oberseite des Trägersubstrats  
(SU) angeordnete diskrete passive oder aktive Schaltungs-  
elemente SMD-Elemente darstellen.

27. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 26,  
bei dem zumindest ein auf der Oberseite des Trägersub-  
strats (SU) angeordnetes Chip-Bauelement eingehäust ist.

28. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 27,  
bei dem zumindest zwei auf der Oberseite des Trägersub-  
strats (SU) angeordnete Chip-Bauelemente von einem ge-  
meinsamen Gehäuse umfaßt sind.

29. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 28,  
das zumindest zwei separat eingehäuste Chip-Bauelemente  
auf der Oberseite des Trägersubstrats (SU) aufweist.

30. Bauelement nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 29,  
bei dem zumindest eine der HF-Elektroden (ES1) oder der  
Steuerspannungs-Elektroden (ES2) mehrere Schichten ent-  
hält.



## Zusammenfassung

### Abstimmbares Filter und Verfahren zur Frequenzabstimmung

- 5 Zur Frequenzabstimmung eines mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelements wird vorgeschlagen, in engem mechanischen Kontakt zu einer piezoelektrischen Anregungsschicht (PS, PS1) eine GDE-Schicht (GDE) vorzusehen, welche ihre Steifigkeit und damit die Schallausbreitungsgeschwindigkeit unter einer
- 10 mechanischen Verspannung stark ändern kann, wobei der Grad der Materialausdehnung bzw. -stauchung mittels zweier Steuerungsspannungs-Elektroden (ES2) und einer piezoelektrischen Abstimmschicht (PS, PS2) einstellbar ist.

15 Figur 1

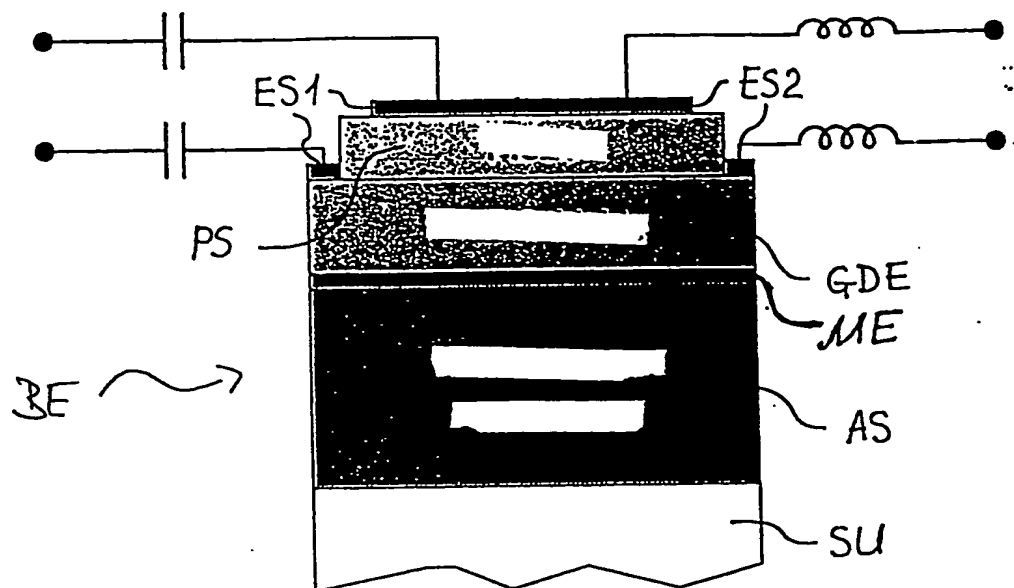


Fig. 1

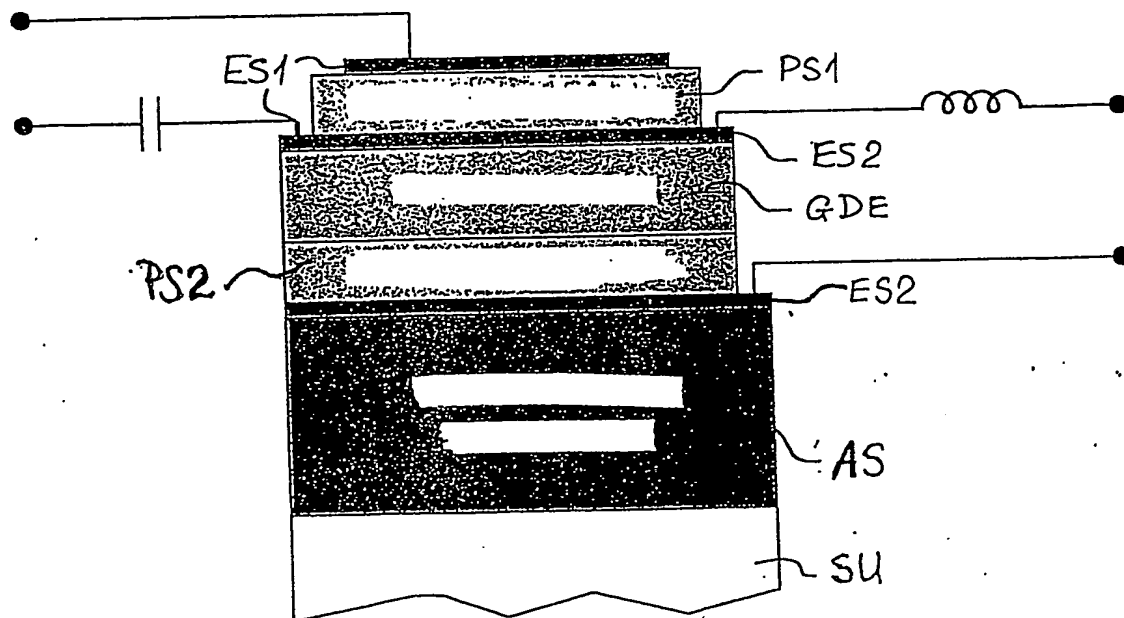


Fig. 2

Fig.3

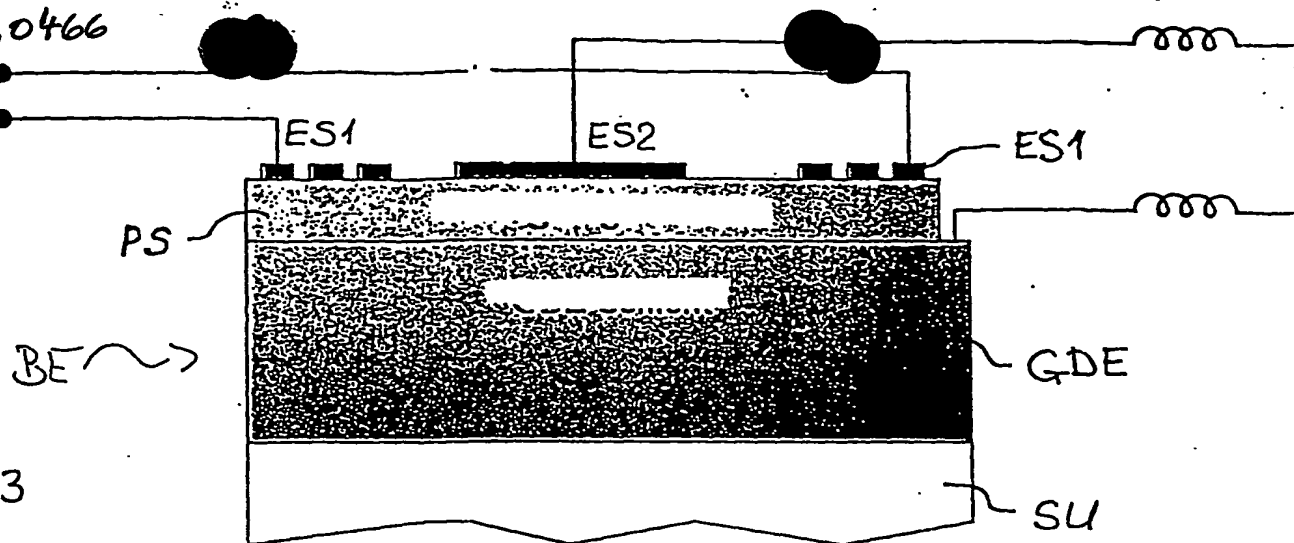


Fig.4

